

# UN NOU MODEL FORMAL PER SIMULAR ALLAUS EMPRANT UN AUTÒMAT CEL·LULAR MULTICAPA

Pau Fonseca <sup>(1)</sup>; Màxim Colls <sup>(2)</sup> i Josep Casanovas <sup>(3)</sup>

(1) UPC. [pau@fib.upc.edu](mailto:pau@fib.upc.edu)

(2) UPC. [maxim.colls@fib.upc.edu](mailto:maxim.colls@fib.upc.edu)

(3) UPC. [josepk@upc.edu](mailto:josepk@upc.edu)

## RESUM

L'article introdueix un nou mètode per simular la dinàmica d'una allau de neu de placa. L'estructura del model està basada en una generalització d'autòmat cel·lular (AC) que permet utilitzar diferents capes (mn-CA<sup>k</sup>). Cada una d'aquestes capes representa la informació geogràfica necessària per caracteritzar l'evolució de l'allau. El model s'ha formalitzat usant *Specification and Description Language* (SDL) i implementat en C++. La clara separació entre la definició del model i la implementació del mateix simplifica la comprensió del comportament del model, en aquest cas concret de les regles d'evolució de l'AC. Es proposen dos paràmetres a calibrar mitjançant la validació dels resultats d'una sèrie d'experiments. Per la validació de les simulacions s'han utilitzat informes d'allaus reals recollits per un equip de la facultat de Geologia de la UB i l'Institut Geològic de Catalunya (IGC).

## RESUMEN

El artículo introduce un nuevo método para simular la dinámica de un alud de nieve de placa. La estructura del modelo está basada en una generalización de autómatas celulares (AC) que permite utilizar diferentes capas (mn-CA<sup>k</sup>). Cada una de estas capas representa la información geográfica necesaria para caracterizar la evolución del alud. El modelo se ha formalizado usando *Specification and Description Language* (SDL) e implementado en C++. La clara separación entre la definición del modelo y la implementación del mismo simplifica la comprensión del comportamiento del modelo, en este caso concreto de las reglas de evolución del AC. Se proponen dos parámetros, a calibrar mediante la validación de los resultados de una serie de experimentos. Para la validación de las simulaciones se han utilizado informes de aludes reales recogidos por un equipo de la facultad de Geología de la UB y el Instituto Geológico de Cataluña (IGC).

**PARAULES CLAU:** Autòmat cel·lular, GIS, simulació, allaus

Les cel·les de color blau són àrees per on la neu s'ha desplaçat mentre que les cel·les de color blanc indiquen que a l'espai que representen hi ha neu que podrà ser desplaçada.

## AUTÒMAT CEL·LULAR

Els autòmats cel·lulars (AC) són sistemes dinàmics i discrets el comportament del qual s'especifica de manera local i relativa a una cel·la.

Un AC està format per un nombre finit de cel·les. Cada cel·la de l'AC representa un espai i conté la informació de l'estat en què es troba en un instant de temps determinat. Els estats de les cel·les evolucionen segons unes regles que són idèntiques per a totes les cel·les. Les regles, anomenades també *funció d'evolució* dependran de la informació o estat de la pròpia cel·la i/o les cel·les del veïnatge.

La figura 1 il·lustra l'evolució d'un AC que representa el moviment d'una allau. En aquest exemple l'AC té dos estats representats amb dos colors diferents: blanc i blau.

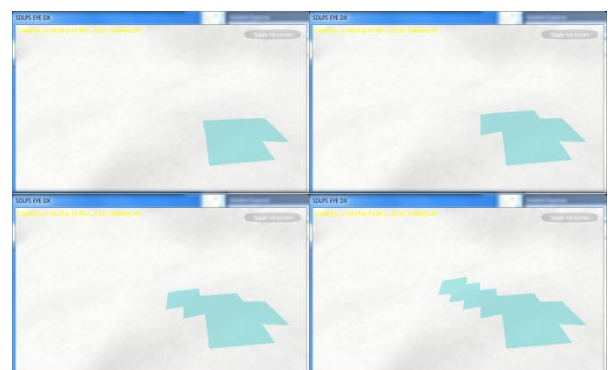


Figura 1 – Evolució d'un AC que representa el moviment d'una allau. Captura de la evolució en diferents instants de temps. D'esquerra a dreta i de dalt a baix.

## AC MULTICAPA: m:n-CA<sup>k</sup>

Les regles d'evolució de l'AC seran la part més important del model. Per tal de definir bé la dinàmica de l'allau cal poder gestionar informació referent a l'espai que representa una cel·la. Vista aquesta necessitat, s'ha utilitzat una generalització d'AC que contempla l'ús de diferents capes a diferència de l'AC clàssic que únicament en contempla una.

Definició 1: m:n-CA<sup>k</sup>

Un autòmat multidimensional és una generalització d'un autòmat cel·lular format per m capes (k de les quals són principals) amb n dimensions cada una.

El model que es proposa es representaria com:

6+N:2-CA<sup>4+N</sup>

On N representa el nombre màxim de tipologia d'obstacles (arbres, cases, roques, etc.) que es poden afegir al model.

Com que tots els paràmetres de la simulació estan representats en aquestes capes, és senzill definir diferents escenaris que representin diversos casos i situacions. En cap cas s'hauria de modificar la lògica o motor de simulació. Per més informació sobre aquesta extensió es pot consultar (Fonseca i Casas, et al., 2005).

El problema de definir un nou escenari es redueix a crear les capes que representin l'àrea que vulguem simular. Aquesta informació s'emmagatzema en format IDRISI32 (Clark Labs, 2009). A la taula 1 es mostren les capes que el model utilitza.

## SDL

*Specification and Description Language* és un llenguatge d'especificació formal formulat per la

ITU-T en l'estàndard Z.100 (Telecommunication standardization sector of ITU, 1999) (SDL). L'especificació en SDL que permet descriure de manera unívoca el comportament de sistemes complexes.

Utilitzar aquest formalisme per descriure el comportament de les cel·les de l'AC ens dona una sèrie d'avantatges, entre altres:

1. Ens permet separar el model de la seva implementació, simplificant-ne la comprensió.
2. SDL és un formalisme gràfic de comprensió intuïtiva de manera que facilita la participació d'experts de diferents àmbits en la definició de la lògica del model.
3. Disposa d'un mercat d'aplicacions que permeten la implementació directa de qualsevol model implementat en SDL. D'aquesta manera no és necessària la validació de la implementació del model.

L'estructura del llenguatge es modular, el que permet definir qualsevol sistema a partir de la composició de les seves parts.

La definició del model es basa en diferents components:

- Estructura: composta per el bloc de sistema, els blocs, els processos i la jerarquia dels processos i blocs.
- Comunicació: composta per les senyals, amb els paràmetres i els canals que les senyals empen per viatjar.
- Comportament: definit a través dels diferents procediments i processos del model.
- Dades: basades en tipus abstractes de dades (ATD: Abstract Data Types).
- Herència: permet descriure les relacions entre els diferents elements del model i descriure especialitzacions.

Nom	Tipus	Descripció	Font	Capa principal (es modifica?)
<b>Altura</b>	Raster	Representa l'altura de la cel·la.	ICC	No
<b>Gruix</b>	Raster	Representa el gruix de la capa.	METEOCAT	Sí
<b>Tipus de sòl</b>	Raster	Tipus de superfície i coeficient de fricció. (roques, neu, gel, etc).	CREAF	No
<b>Obstacles</b>	Raster	Obstacles que hi ha a l'entorn de simulació.	CREAF	Sí
<b>Fractura</b>	Vectorial	Fractura inicial de la placa de neu que desencadena l'allau.	Input data	Sí
<b>Estat</b>	Raster	Estat de la neu movable. (Buit, estàtic o dinàmic).	METEOCAT	Sí

Taula 1: Capes de l'AC

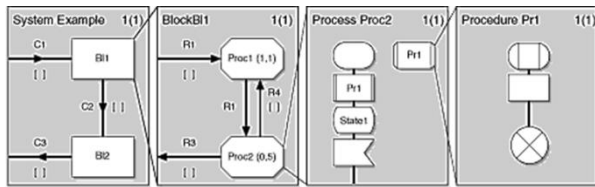


Figura 2 – Els nivells d'un model SDL, font: <http://www.iec.org/online/tutorials/sdl/topic04.html>

## MODEL

La formalització complerta del model d'allaus es pot trobar a (Fonseca i Casas, et al., 2011) així com la descripció dels experiments desenvolupats.

Donada l'extensió de la formalització del model únicament mostrarem aquí el diagrama d'estats, que representa com en cada una de les diferents cel·les del autòmat cel·lular es canvia d'estat en funció dels diferents esdeveniments que es poden rebre.

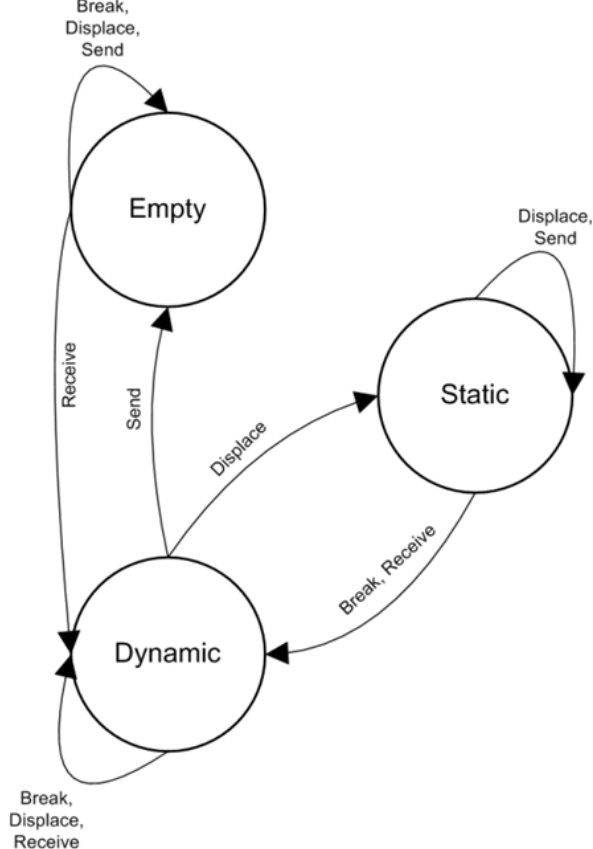


Figura 3 – Estats de l'autòmat cel·lular.

## EXPERIMENTS

Per definir els experiments primer cal obtenir la informació dels escenaris que es volen representar. El principal problema és que no es disposa de tota la informació necessària per definir les característiques del model. Degut al complicat procés d'obtenció de dades a l'entorn on

es desenvolupa el fenomen de l'allau cal realitzar algunes suposicions (Oller, 2009).

Per altra banda, en una primera aproximació al fenomen, s'han definit dos paràmetres que representen dues característiques importants en la dinàmica d'una allau.

Kp o coeficient de penalització representa els processos que disminueixen les forces de desplaçament de l'allau (com ara processos turbulents interns de l'allau). Cal destacar que no s'inclouen processos propis del terreny o l'escenari que s'estigui simulant.

Ki o coeficient d'inèrcia representa l'efecte de la quantitat de moviment (o inèrcia) de l'allau en el seu recorregut.

Aquests paràmetres definiran el comportament de l'allau independentment del relleu o el tipus de terreny a on es produeixi.

Per a l'experimentació s'han escollit allaus de placa o mixts excloent les allaus de fusió o de neu humida.

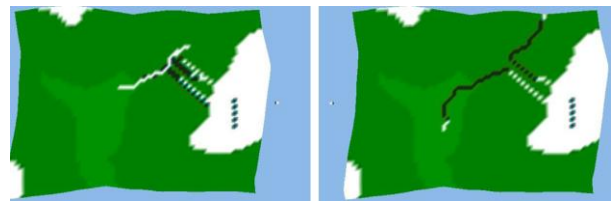


Figura 4 – A l'esquerra es mostra una simulació aplicant l'aproximació d'inèrcia mentre que a la dreta no s'ha aplicat. El comportament d'aquesta segona és més semblant a la d'un fluid aquós.

## RESULTATS

La experimentació ha consistit en executar una bateria de simulacions en diferents escenaris dels que es disposava un informe detallat de l'allau en qüestió.

Cada bateria de simulacions contenia un conjunt de simulacions amb valors diferents dels paràmetres Kp i Ki per tal de poder calibrar aquests valors fent un anàlisi dels resultats.

Per tal d'avaluar el resultat de les simulacions s'han comparat els valors de *distància recorreguda* i *desnivell* amb els recollits als informes. En segon pas, s'ha fet una comparació gràfica dels recorreguts de les allaus.

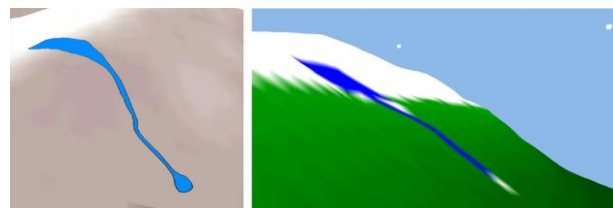


Figura 5 – Allau a la vall de Ruda '04. A l'esquerra es mostra el camí observat i a la dreta el simulat.

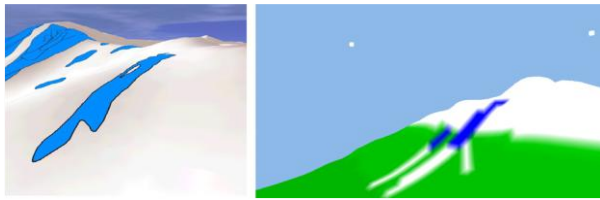


Figura 6 – Allau a Sant Martí '06. A l'esquerra es mostra el camí observat i a la dreta el simulat.

A les figures 5, 6 i 7 es mostren comparacions gràfiques del recorregut de les allaus recollit als informes amb el de les parametritzacions que han donat millors resultats. El color blau indica el camí per on s'ha desplaçat la neu mentre que en blanc representa allà on s'ha dipositat

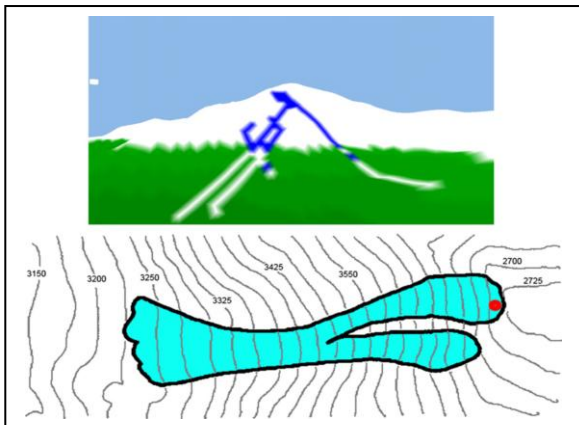


Figura 7 – Allau a Raspes Roies '96. A sobre es mostra el camí simulat i a sota l'observat.

Amb els diferents experiments realitzats a cada escenari es pot obtenir els millors valors per  $K_i$  i  $K_p$ . Els valors de la millor parametrització estan representats a la figura 8. El pic que presenta la gràfica indica la parametrització que és bona per a tots els escenaris.

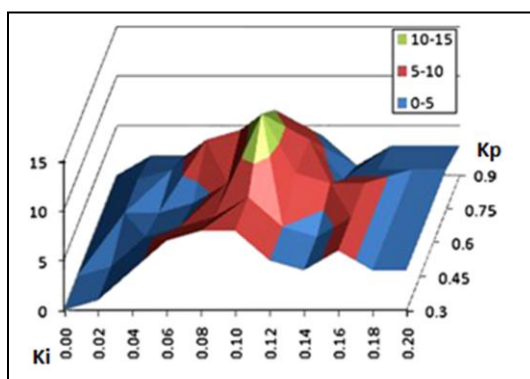


Figura 8 – Anàlisi dels paràmetres  $K_i$  i  $K_p$ .

## CONCLUSIONS

El model presentat dona bons resultats en els escenaris on s'han realitzat les simulacions.

S'han comparat les simulacions amb (Leaf, et al., 1977) (Mears, 1976) obtenint uns resultats similars. En quatre dels escenaris, la velocitat

màxima de l'allau és de 21 m/s (allaus petites o mitjanes). En l'escenari d'una allau de grans dimensions, la velocitat màxima del model és de 67 m/s (per sobre dels valors típics en allaus de grans dimensions).

Aquests resultats ens permeten seguir amb el procés de validació del model. Fins a 5 diferents escenaris d'allaus reals s'han simulat i analitzat amb resultats satisfactoris.

Com que les capes representen totes les variables del model i es poden obtenir de dades GIS, la construcció de nous escenaris es basa en la definició d'aquestes capes, una tasca que es pot realitzar des d'un entorn GIS.

S'ha realitzat una primera calibració dels paràmetres proposats donant bons resultats quan  $K_i = 0,6$  i  $K_p = 0,1$ . Amb aquests valors s'obtenen bones aproximacions de les variables resposta en els escenaris proposats.

Actualment el model s'està redefinint de nou per tal de poder descriure el comportament intern. Aquesta redefinició interna permetrà la predicció de les posicions de cossos que hagin quedat soterrats per un allau.

## REFERÈNCIES

- Clark Labs IDRISI** [En línia] // IDRISI. - 2009. - 26 / 11 / 2009. - <http://www.idrisi.com/>.
- Fonseca i Casas Pau i Casanovas Josep** Simplifying GIS data use inside discrete event simulation model through m\_n-AC cellular automaton [Conferència] // Proceedings ESS 2005. - 2005.
- Fonseca i Casas Pau, Colls Màxim i Casanovas Josep** A novel model to predict a slab avalanche configuration using m:n-CAk cellular automata [Revista] // Computers, Environment and Urban Systems. - [s.l.] : Elsevier Ltd., 2011.
- Leaf Charles F. i Martinelli Jr, M.** Avalanche Dynamics: Engineering applications for land use planning [Informe] / Rocky Mt. For. and Range Exp. Stn. - Port Collins, Colo. 8052 1. : USDA For. Serv. Res. Pap. RM- 183, 1977. - p. 51.
- Mears Arthur I.** Guidelines and methods for detailed snow avalanche hazard investigations in Colorado. [Informe]. - Denver, Colorado : Geol. Surv. Bull. 38, 1976. - p. 125.
- Oller Pere** Caracterització de les allaus majors registrades al Pirineu de Catalunya [Informe] / Institut Geològic de Catalunya. - 2009. - ALL-008/09.
- SDL Tutorial** [En línia] // IEC International Engineering Consortium. - January / 2009. - <http://www.iec.org/online/tutorials/sdl/>.
- Telecommunication standardization sector of ITU** Specification and Description Language (SDL) [En línia] = ITU-T Z.100. 1999 // Series Z: Languages and general software aspects for telecommunication systems.. - International Telecommunication Union, 1999. - April / 2008. - <http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com17/languages/index.html>.